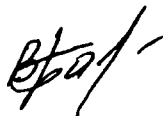


0 - 800111

На правах рукописи



БАТРАШОВ ВИКТОР МИХАЙЛОВИЧ

**ЖАРОСТОЙКИЙ ПОРИЗОВАННЫЙ БЕТОН
НА ОСНОВЕ МОДИФИЦИРОВАННОГО ФОСФАТНОГО
СВЯЗУЮЩЕГО И ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ**

Специальность 05.23.05 – Строительные материалы и изделия

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Казань – 2013

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Пензенский государственный университет».

Научный руководитель:	кандидат технических наук, доцент Пак Чир Ген
Официальные оппоненты:	Габидуллин Махмуд Гарифович , доктор технических наук, профессор ФГБОУ ВПО «Казанский государственный архитектурно- строительный университет», профессор кафедры «Строительные материалы» Хлыстов Алексей Иванович , доктор технических наук, профессор ФГБОУ ВПО «Самарский государственный архитектурно- строительный университет», профессор кафедры «Строительные материалы»
Ведущая организация –	ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства»

Защита диссертации состоится 8 апреля 2013 г. в 13.00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.077.01 при Казанском государственном архитектурно-строительном университете по адресу: 420043, г. Казань, ул. Зеленая, 1, ауд. 3-203.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО «Казанский государственный архитектурно-строительный университет»

Автореферат разослан «6» марта 2013 г.

НАУЧНАЯ БИБЛИОТЕКА КГУ



0000672093

Ученый секретарь
диссертационного совета

Абдрахманова Л. А.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Современное развитие экономики России выдвигает ряд научно-технических задач, решение которых предполагает радикальное снижение энергетических и тепловых потерь, материалоемкости конструкций, рациональное и эффективное использование всех видов ресурсов.

Такая тенденция наблюдается не только в России, но и за рубежом, поэтому вопросы разработки новых жаростойких материалов для эффективной теплоизоляции имеют первостепенное значение. Наибольший эффект при решении подобных задач достигается при замене штучных огнеупорных изделий огнеупорными легкими жаростойкими бетонами. Особой разновидностью легкого бетона является ячеистый и поризованный бетон, который образуется на основе системы вяжущее – наполнитель – заполнитель (или без заполнителя) – вода – порообразователь. Применение жаростойких поризованных бетонов позволяет обеспечить снижение материалоемкости конструкций тепловых агрегатов, непроизводительные тепловые потери в окружающую среду; снизить общий расход топлива в печах непрерывного и периодического действия, что особенно актуально в связи с ростом мировых цен на все виды энергоресурсов.

Наибольшие прочность при сжатии и температуру применения имеют фосфатные поризованные бетоны. Одной из эффективных технологий изготовления данного материала является его получение за счет химической реакции взаимодействия между фосфатным связующим и активным дисперсным металлом – алюминиевой пудрой. Поризация и твердение бетона происходят за счет газо- и тепловыделения экзотермической реакции исходных компонентов.

Основателем отечественной школы фосфатных материалов является академик И. В. Тананаев. Большой вклад в развитие и оснащение научных основ и технологии разнообразных фосфатных материалов внесли С. Л. Голынки-Вольфсон, К. Д. Некрасов, В. А. Копейкин, А. Н. Абызов и др.

Из зарубежных ученых значительный вклад в исследования фосфатных материалов внесли Кинжери и его школа в США, группа исследователей Бехтель и Плюсс в ФРГ, в Чехословакии – Барта и Прохазка, во Франции – Д'Ивуар и др.

В настоящее время в России и за рубежом проведено большое количество работ, направленных на совершенствование технологии получения фосфатного жаростойкого бетона, повышение его эксплуатационных

свойств, а также расширение сырьевой базы. За последний период исследования в данной области направлены на замедление начала вспучивания фосфатной композиции введением пассивирующих добавок и улучшение свойств бетонов путем замены заполнителей различными промышленными отходами, а кислоты – фосфатными связующими. Однако в работах не рассматривалась возможность замены алюминиевой пудры на менее дисперсный алюминиевый порошок с целью уменьшения скорости экзотермической реакции, получения более однородной структуры, а также расширения сырьевой базы.

К наиболее актуальной задаче следует отнести использование техногенных отходов промышленности в производстве поризованных бетонов, позволяющих повысить физико-механические свойства и жаростойкость, снизить себестоимость материала и частично решить проблему утилизации отходов. Работами ведущих научных школ данной области были показаны возможности применения отходов абразивного производства, нефтехимии, металлургии и др. в качестве наполнителей в жаростойком поризованном бетоне. Однако использование кремнеграфитовых отходов в составе поризованного бетона было исследовано только на магнийфосфатном связующем (МФС), недостаточно огнеупорном и обладающем малым сроком хранения. Поэтому вопрос применения этих отходов в составе жаростойкого фосфатного бетона на других связующих остается открытым.

В связи с этим практический интерес представляет возможность получения жаростойкого поризованного бетона на алюмоборфосфатном связующем (АБФС) и алюминиевом порошке ПОС-15 (оба выпускаются в промышленном объеме) в сочетании с кремнеграфитовыми и алюмохромовыми отходами.

Диссертационная работа выполнялась в рамках Федеральной целевой программы «Национальная система химической и биологической безопасности Российской Федерации (2009–2013 годы)» Министерства промышленности и торговли Российской Федерации.

Цель работы – разработка составов и исследование свойств жаростойкого поризованного бетона фосфатного твердения с повышенной термостойкостью на основе АБФС, алюминиевого порошка ПОС-15, шмота, алюмохромовых и кремнеграфитовых отходов.

Для достижения поставленной цели в диссертационной работе решались следующие задачи:

1. Исследование реакции взаимодействия АБФС с порошком алюминия и на этой основе – разработка поризованных фосфатных композиций; исследование фазовых превращений и физико-химических процессов, протекающих при их твердении и нагревании.

2. Исследование физико-механических свойств и жаростойкости наполнителей для жаростойкого поризованного бетона. Разработка его составов на основе АБФС, шамота, алюмохромовых и кремнеграфитовых отходов.

3. Исследование физико-химических превращений, протекающих при твердении и нагревании жаростойкого поризованного бетона, а также его эксплуатационно-технических свойств.

4. Испытание разработанного жаростойкого поризованного бетона в промышленных условиях и оценка его технико-экономической эффективности.

Научная новизна:

1. Установлены зависимости физико-механических свойств жаростойкого бетона от его состава: содержания алюмоборфосфатного связующего, порошка алюминия, шамота и кремнеграфитовых отходов, что позволило разработать оптимальные составы бетона с наибольшей прочностью и термостойкостью.

2. Выявлено, что на основе композиции АБФС – порошок алюминия можно получать жаростойкие поризованные бетоны, не требующие термообработки и обладающие стабильным комплексом структуры и свойств при высоких температурах.

3. Установлена возможность получения поризованного бетона переменной плотности различного назначения на основе алюмоборфосфатной матрицы при обеспечении температуры зоны контакта слоев не ниже 40...50 °С.

Достоверность научных результатов и обоснованность выводов работы обеспечиваются использованием стандартных методов исследования, современного программного обеспечения для выполнения расчетов, одинаковыми условиями проведения экспериментов, воспроизводимостью результатов и сравнением их с расчетными данными. Достоверность экспериментальных данных обеспечивается использованием современных средств и методик проведения исследования.

Практическая значимость работы состоит в разработке новых составов жаростойкого поризованного бетона с применением шамота, алюмохромовых и кремнеграфитовых отходов, твердеющего без применения термообработки, со средней плотностью 700, 800, 900, 1000 кг/м³ и температурой применения 1350...1500 °С. Материал обладает высокими физико-механическими свойствами и жаростойкостью, может быть использован в футеровках тепловых агрегатов взамен штучных шамотных и корундовых легковесных огнеупоров, получаемых по обжиговой техноло-

гии, и высокотемпературных жаростойких бетонов на основе дефицитных технических компонентов: оксидов алюминия, хрома, магния.

Разработанные жаростойкие поризованные бетоны были использованы:

1) при ремонте главного свода регенеративной стекловаренной печи с подковообразным направлением пламени для варки боросиликатного стекла в качестве теплоизолирующего слоя толщиной 150 мм на ЗАО «Васильевский стекольный завод» (Россия, Республика Татарстан);

2) при выполнении ОКР «Разработка технологий, обеспечивающих ликвидацию различных химически опасных отходов, находящихся на территории накопителей, свалок и захоронений, на основе методов сверхкритического водного окисления и пиролиза в восстановительной среде без процесса горения» ФЦП «Национальная система химической и биологической безопасности Российской Федерации (2009–2013 годы)» Министерства промышленности и торговли Российской Федерации (Госконтракт № 9411.1007500.13.1007 от 23 июля 2009 г.); разработанные составы рекомендованы в качестве теплоизоляции камеры сгорания, корпуса реактора и камеры дожигга газа пиролизной печи для утилизации химически опасных отходов.

Научная и практическая ценность работы подтверждена актами внедрения.

Полученные в ходе выполнения диссертационной работы результаты исследований были использованы при составлении рекомендаций по составам и технологии изготовления фосфатного поризованного бетона, соответствующим ТУ-5713-046-00290038–2002.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Состав и результаты исследования свойств поризованных фосфатных композиций на основе АБФС и порошка алюминия, твердеющих без термообработки.

2. Составы и эксплуатационно-технические свойства жаростойкого поризованного бетона на основе АБФС, порошка алюминия, шамота, алюмохромовых и кремнеграфитовых промышленных отходов.

3. Результаты исследования адгезионной прочности многослойного поризованного бетона переменной плотности, созданного на основе единой алюмоборфосфатной матрицы.

4. Результаты испытаний жаростойкого поризованного бетона в промышленных условиях и технико-экономические показатели его производства и применения.

Апробация работы. Основные положения и результаты работы докладывались и обсуждались на международных, всероссийских, региональных, внутривузовских конференциях и симпозиумах: V Международном симпозиуме «Горение и плазмохимия», Алма-Ата, Республика Казахстан, 2009; Всероссийской научно-технической конференции «Новые материалы и технологии НМТ – 2010», Москва, 2010; Международном симпозиуме по использованию энергии взрыва для получения материалов с новыми свойствами: наука, технология, бизнес и инновации (EPNM-2011), Калининград, 2011; Всероссийской научно-технической конференции «Перспективы развития строительного материаловедения: энерго- и ресурсосбережение в строительстве», Челябинск, 2011; Международной научно-технической конференции «Композиционные строительные материалы. Теория и практика», Пенза, 2011; XI Международном симпозиуме по самораспространяющемуся высокотемпературному синтезу, Анавассос, Греция, 2011; Всероссийской конференции «Актуальные научно-технические проблемы химической безопасности», Москва, 2011; V Международной научно-практической конференции «Новые материалы и технологии их получения», Новочеркасск, 2011.

Публикации. По результатам выполненных исследований опубликовано 11 работ, в том числе 3 в изданиях, входящих в перечень рецензируемых журналов ВАК РФ.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 5 глав, основных выводов и приложений, содержит 150 страниц машинописного текста, 47 рисунков, 10 таблиц и список литературы из 204 наименований.

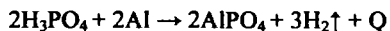
СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность диссертационной работы, сформулированы цель и задачи исследования, изложены основные положения, выносимые на защиту, приводятся сведения об апробации работы и публикациях, структуре и объеме диссертации.

В первой главе установлены основные направления совершенствования жаростойкого бетона.

Представлен литературный обзор развития основных положений теории и практики разработки и применения жаростойких бетонов. Дан анализ легких, в частности ячеистых и поризованных жаростойких бетонов на различных видах вяжущих, и пути повышения их физико-механических и жаростойких свойств. Показано, что наиболее перспективной областью развития жаростойкого поризованного бетона является его получение

в режиме экзотермической реакции между фосфатным связующим и дисперсным алюминием по уравнению



Рассмотрены различные виды фосфатных связующих и особенности получения жаростойких бетонов на их основе, их достоинства и недостатки.

Показано, что применение нового вида вяжущей системы – композиций алюминиевая пудра – фосфатное связующее в различных сочетаниях с тонкомолотыми наполнителями, заполнителями и модифицирующими добавками – позволяет открыть качественно новые возможности для получения целого ряда жаростойких ячеистых и поризованных материалов, не требующих процесса термообработки. Данная технология является энергоэффективной и решает проблему утилизации огнеупорных отходов промышленности.

Сформулированы основные направления работы по созданию жаростойкого поризованного бетона с применением новой фосфатной композиции АБФС – порошок алюминия и техногенных отходов промышленности (отработанного алюмохромового катализатора ИМ-2201, кремнеграфитовых отходов).

Вторая глава посвящена разработке и исследованию алюмоборфосфатной композиции, твердеющей без термообработки.

Приведены обоснование выбора исходных компонентов (ортофосфорной кислоты (ОФК), АБФС и порошка алюминия) для получения алюмоборфосфатной композиции, их состав и свойства. Изложены основные методы исследования (дифференциально-термический и рентгенофазовый анализ) разработанной алюмоборфосфатной композиции.

Фосфатное связующее для создания алюмоборфосфатной композиции готовили смешиванием АБФС с ОФК в соотношениях, обеспечивающих получение связующих различной активности.

Для выбора наиболее технологичных соотношений АБФС:ОФК, обеспечивающих получение жаростойких поризованных фосфатных композиций, твердеющих без термообработки, были изучены основные показатели взаимодействия фосфатного связующего с алюминиевым порошком – максимальная температура реакции (рис. 1) и время начала интенсивного взаимодействия (рис. 2).

Установлено, что твердая поризованная композиция образуется при взаимодействии связующего с алюминиевым порошком в течение нескольких минут. Поризация и твердение композиции происходят в результате газо- и тепловыделения химического взаимодействия фосфатного связующего и алюминиевого порошка. Максимальная температура взаи-

модействия исходных компонентов при нормальных условиях достигает 115 °С.

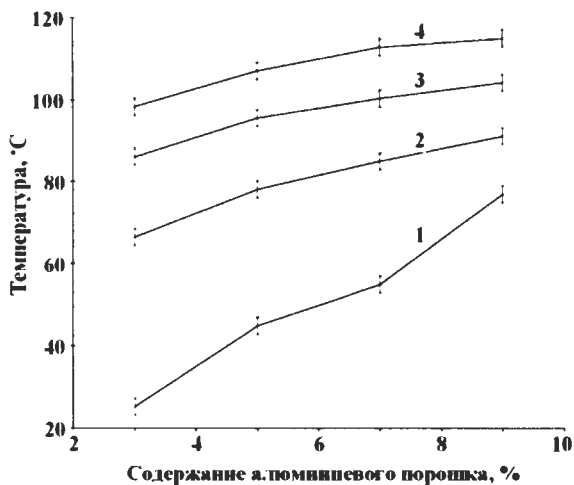


Рис. 1. Температура взаимодействия фосфатного связующего с порошком алюминия:

1 – 100 % АБФС; 2 – 75 % АБФС + 25 % ОФК;
3 – 50 % АБФС + 50 % ОФК; 4 – 25 % АБФС + 75 % ОФК

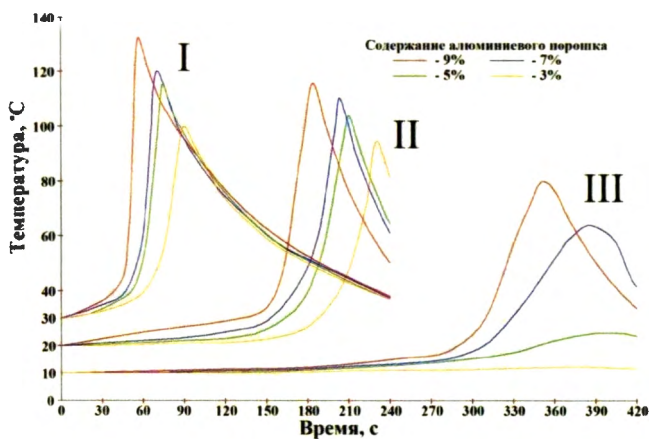


Рис. 2. Термометрические кривые взаимодействия фосфатного связующего (АБФС:ОФК = 25:75) с порошком алюминия ПОС-15 при разной исходной температуре компонентов:

1 – 30 °С; II – 20 °С; III – 10 °С

Показано, что, изменяя начальную температуру компонентов смеси, можно регулировать процесс получения фосфатной композиции, тем самым управлять структурообразованием жаростойких поризованных бетонов на ее основе.

Методами дифференциально-термического и рентгенофазового анализа были исследованы процессы, протекающие при твердении и нагревании поризованной композиции на основе АБФС и алюминиевого порошка. Установлено, что при нагревании от 125 до 1300 °С происходит обезвоживание и перекристаллизация фосфатов алюминия.

Начало кристаллизации тетраметафосфата алюминия происходит при 560 °С, минуя стадию триметафосфата, т.е. наличие борной кислоты способствует увеличению степени полимеризации фосфатного аниона. Конечными продуктами фазовых превращений алюмоборфосфатной композиции после нагревания до 1300 °С являются высокотемпературные соединения – $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ и AlPO_4 (кристобалитовый тип).

В третьей главе представлены исследования по разработке составов жаростойкого поризованного бетона. Используются стандартные методы испытаний его физико-механических и жаростойких свойств.

Приведено обоснование выбора основных огнеупорных наполнителей (шамот, алюмохромовые и кремнеграфитовые отходы) для разработки составов жаростойкого поризованного бетона на основе композиции АБФС – порошок алюминия.

Исследованы физико-механические свойства огнеупорных наполнителей, изучены химический и фазовый составы, а также морфологические особенности их поверхности.

Для оптимизации составов, обеспечивающих получение требуемой плотности при обеспечении наибольшей возможной прочности и термостойкости, а также наименьшего расхода алюминия как наиболее дорогостоящего компонента смеси, были использованы зависимости, описывающие влияние значимых факторов (расход связующего, порошка алюминия и кремнеграфитовых отходов) на среднюю плотность жаростойкого поризованного бетона. Адекватность полученных на ПЭВМ зависимостей оценивалась по критерию Фишера. При проведении экспериментов количество образцов в одной серии устанавливалось исходя из условия, чтобы внутрисерийный коэффициент вариации не превышал 5 %.

На основании полученных данных были рассчитаны зависимости, описывающие влияние расхода связующего, количества алюминиевого порошка и кремнеграфитовых отходов на среднюю плотность жаростойкого поризованного бетона, при использовании тонкомолотого шамотного по-

рошка и шамотного порошка заводского изготовления. В качестве примера приведена зависимость при использовании шамотного порошка фракции 0...3 мм:

$$\begin{aligned} \rho = & 895,56 - 39,72(x_2 - 6) + 8,75(x_2^2 - 12x_2 + 33,33) - \\ & - 2583,34(x_1 - 0,2) + 2,61(x_3 - 20) + \\ & + 75(x_1 - 0,2)(x_3 - 20) - 40,63(x_2 - 6)(x_1 - 0,2)(x_3 - 20) - \\ & - 0,12(x_2^2 - 12x_2 + 33,33)(x_3^2 - 40x_3 + 335,33), \end{aligned}$$

где x_1 – расход связующего в соотношении жидкое/твердое, л/кг; x_2 – содержание алюминиевого порошка ПОС-15, % от массы сухих компонентов; x_3 – содержание кремнеграфитовых отходов, %.

Установлено, что использование шамотного порошка фр. 0...3 мм требует меньшего расхода связующего (0,18...0,22 л/кг) по сравнению с составами на тонкомолотом шамотном порошке (0,22...0,26 л/кг). Показано, что при одновременном увеличении количества вводимых порошка алюминия (4...8 %) и связующего происходит снижение средней плотности с 1100 до 650 кг/м³.

Было изучено влияние добавки кремнеграфитовых отходов на прочность при сжатии и термостойкость жаростойких поризованных бетонов. Результаты исследований для составов на шамотном порошке заводского изготовления приведены на рис. 3.

Выявлено, что увеличение количества кремнеграфитовых отходов приводит к повышению предела прочности при сжатии бетона до 7 % и его термостойкости до 60 %.

В результате проведенных исследований были разработаны составы алюмоборфосфатного жаростойкого поризованного бетона со средней плотностью 700, 800, 900 и 1000 кг/м³ на основе тонкомолотого шамотного порошка и шамотного порошка фр. 0...3 мм с добавками алюмохромовых и кремнеграфитовых отходов (табл. 1).

В четвертой главе приводятся результаты исследования физико-механических и жаростойких свойств разработанных бетонов, а также физико-химических процессов, протекающих в материале при его твердении и нагревании.

Установлены зависимости изменения прочности при сжатии, температурной усадки и средней плотности бетона при нагревании от 100 до 1400 °С (рис. 4).

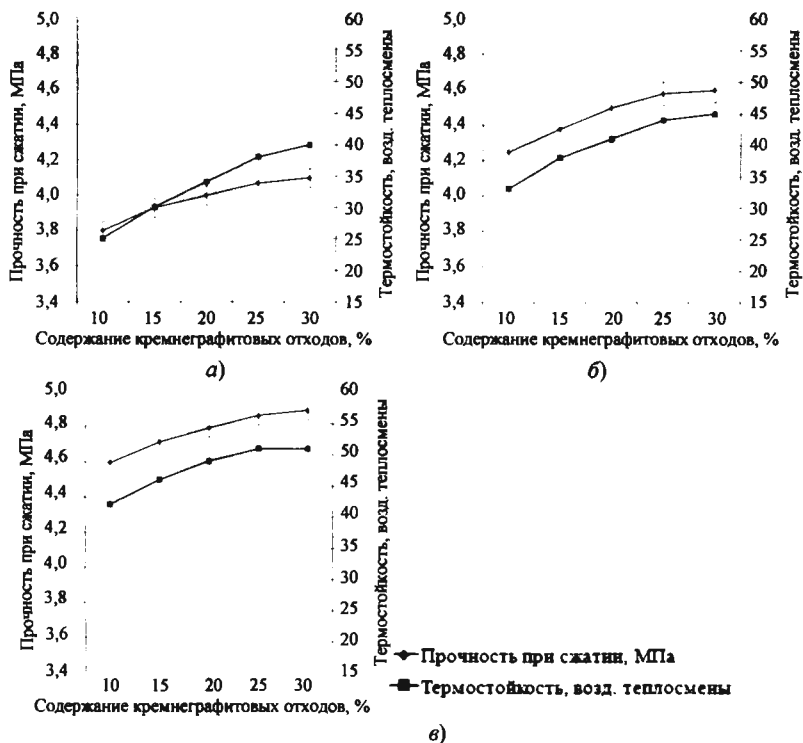


Рис. 3. Зависимость термостойкости и предела прочности при сжатии от содержания кремнеграфитовых отходов при средней плотности:
а – 800 кг/м³; б – 900 кг/м³; в – 1000 кг/м³

Таблица 1

Составы жаростойкого поризованного бетона

Номер состава	Расход материалов						Средняя плотность, кг/м ³
	Расход связующего (АБФС: ОФК=1:3), л/кг	Алюминиевый порошок, % от массы сухих компонентов	Шамотный порошок тонкомолотый, %	Алюмохромовый отход, %	Кремнеграфитовые отходы, %	Шамотный порошок фр. 0...3 мм, %	
1	0,22	8	55	15	30	—	700
2	0,22	7	—	15	30	55	800
3	0,21	6	—	15	30	55	900
4	0,21	4	—	15	30	55	1000

Установлено, что предел прочности при сжатии в зависимости от температуры термообработки может как возрастать, так и убывать. В интервале температур от 100 до 200 °С она возрастает (в большей степени у плотного бетона 900, 1000 кг/м³), а далее колеблется в пределах статистической погрешности.

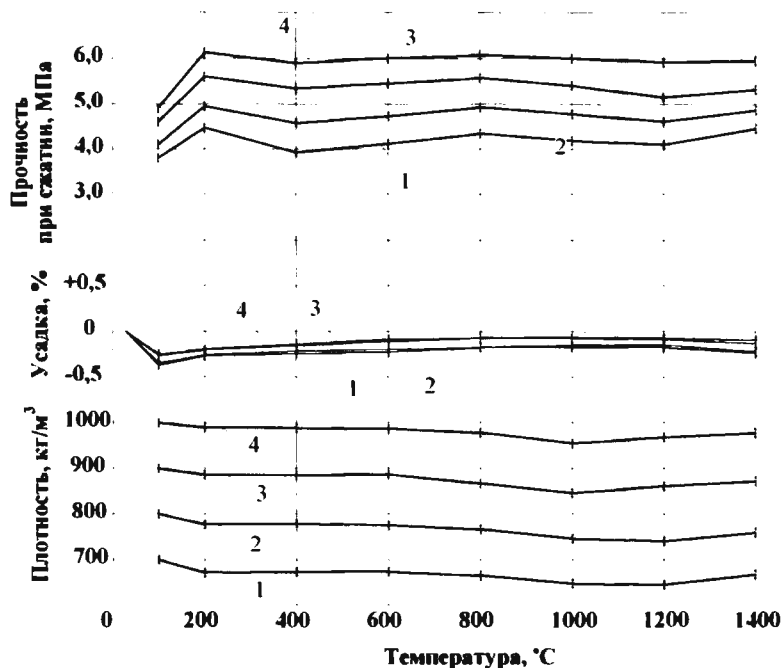


Рис. 4. Изменение прочности при сжатии, величины температурной усадки и средней плотности при нагревании жаростойкого поризованного бетона с исходной плотностью: 1 – 700 кг/м³; 2 – 800 кг/м³; 3 – 900 кг/м³; 4 – 1000 кг/м³

Максимальная величина усадки поризованного бетона наблюдается после сушки до 100 °С и составляет 0,3...0,4 %. При дальнейшем нагреве она несколько снижается, мало изменяясь в интервале температур от 400 до 1400 °С.

Нагрев до 1400 °С жаростойкого поризованного бетона приводит к малозначительным изменениям средней плотности, что свидетельствует о температурной стабильности материала.

Определена общая пористость жаростойкого поризованного бетона средней плотностью 700...1000 кг/м³, которая составила 67,2...53,3 %, большая часть пор характеризуется размерами до 3 мм (рис. 5).

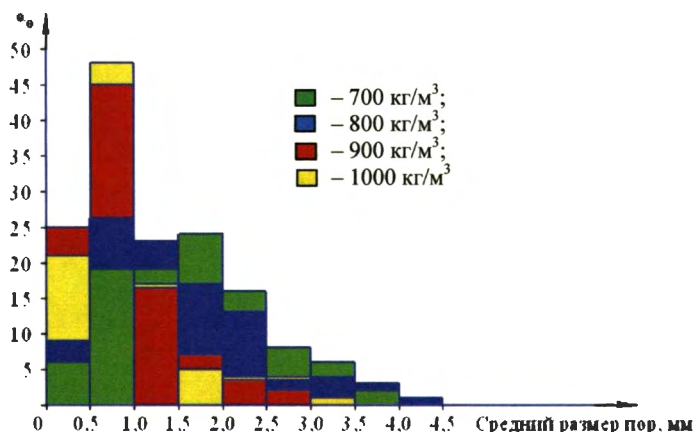


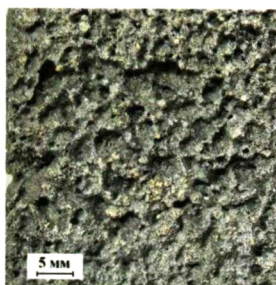
Рис. 5. Гистограмма распределения пор по размерам жаростойкого поризованного бетона с разной средней плотностью

Разработанные составы бетона средней плотностью 700...1000 кг/м³ по физико-механическим и жаростойким свойствам не уступают известным бетонам на алюмофосфатном и магнийфосфатном связующих. Кроме того, применение кремнеграфитовых отходов промышленности в качестве добавки позволило повысить показатели термостойкости бетона по сравнению с жаростойким газобетоном на АБФС.

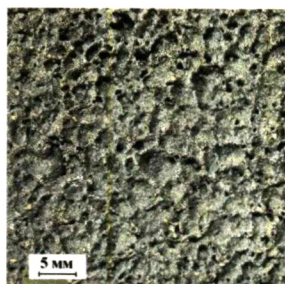
На рис. 6 приведены макроструктуры исследуемых жаростойких поризованных бетонов различной плотности. Видно закономерное снижение размера пор с ростом плотности материала.

В соответствии со стандартными методами исследования определены основные физико-механические и жаростойкие свойства разработанных жаростойких поризованных бетонов (табл. 2).

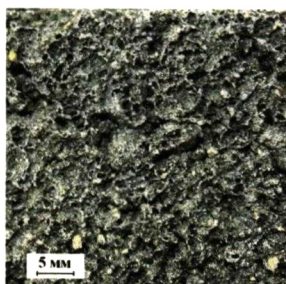
В силу особенностей твердения алюмоборфосфатной композиции разработанные составы позволяют получать материалы переменной плотности. Синтез поризованного бетона переменной плотности основан на формировании слоев, имеющих различные химические и физико-механические свойства, связанные с газо- и тепловыделением при образовании монолитного материала.



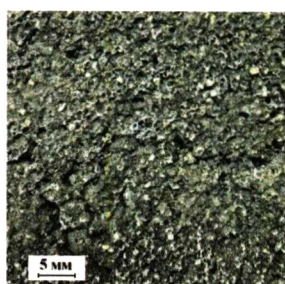
а)



б)



в)



г)

Рис. 6. Макроструктуры жаростойкого поризованного бетона средней плотности:
а – 700 кг/м³; б – 800 кг/м³; в – 900 кг/м³; г – 1000 кг/м³

Определены условия формирования адгезионной прочности многослойного поризованного бетона переменной плотности на основе фосфатной композиции АБФС – порошок алюминия путем экспериментальных испытаний образцов на разрыв (рис. 7). Установлено, что температура контактирующего слоя в момент укладки на него второго не должна быть ниже 40 °С.

Методами дифференциально-термического и рентгенофазового анализа исследованы процессы, протекающие при твердении и нагревании жаростойкого поризованного бетона, полученного на основе АБФС и порошка алюминия, алюмохромовых и кремнеграфитовых отходов.

Конечными продуктами фазовых превращений композиции после нагревания до 1400 °С являются высокотемпературные соединения – фосфаты бора, хрома, алюминия (рис. 8).

Таблица 2

Свойства жаростойкого поризованного бетона

Характеристика	Номер состава (см. табл. 1)			
	1	2	3	4
1. Плотность после сушки, кг/м ³	700	800	900	1000
2. Марка бетона по средней плотности*	D700	D800	D900	D1000
3. Предел прочности при сжатии через 4 ч после изготовления, МПа	3,6	3,9	4,3	4,9
4. Предел прочности при сжатии после сушки, МПа	3,8	4,1	4,6	5,2
5. Остаточная прочность при 800 °С, %	113	120	122	124
6. Предел прочности при сжатии после нагрева до предельной температуры применения, МПа	4,5	4,8	5,4	6,1
7. Температурная усадка при предельной температуре применения, %	0,8	0,8	0,9	0,9
8. Термостойкость при 800 °С, воздушные теплосмены	33	40	45	51
9. Огнеупорность, °С	1680	1700	1750	1750
10. Коэффициент линейного термического расширения в интервале от 20 до 1000 °С, град ⁻¹ ·10 ⁻⁶	7,2	7,3	7,5	7,5
11. Коэффициент теплопроводности при 20 °С, Вт/м·К	0,18	0,20	0,21	0,22
12. Предельная температура применения, °С	1350–1400	1350–1400	1400–1500	1400–1500
13. Класс бетона по предельно допустимой температуре применения*	И14	И14	И15	И15

* Согласно ГОСТ 2090–90.

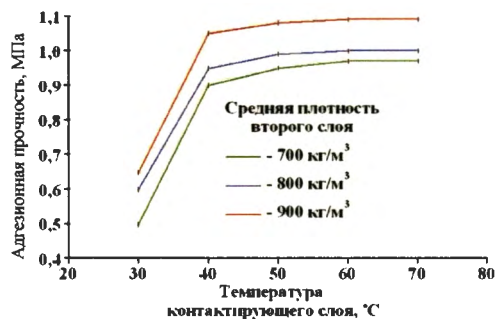
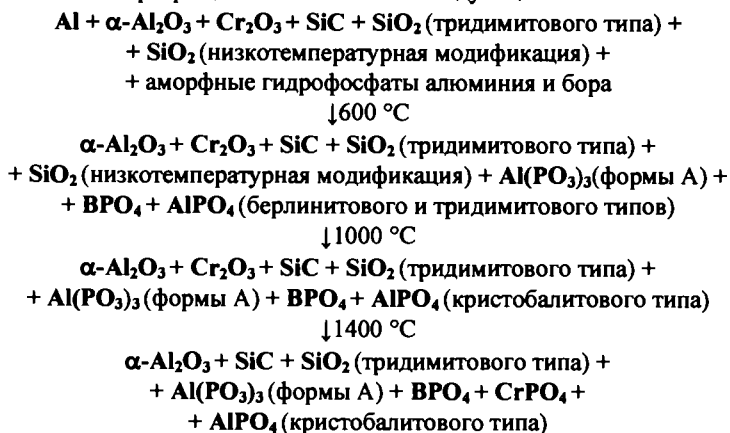


Рис. 7. Зависимость адгезионной прочности жаростойкого поризованного бетона переменной плотности от температуры контактирующего слоя в момент укладки на него второго слоя

Фазовые превращения описываются следующей схемой:



В пятой главе приводится опыт использования разработанных составов жаростойкого поризованного бетона, а также рассчитываются технико-экономические показатели.

На основе алюмоборфосфатной композиции, шамотного порошка, алюмохромовых и кремнеграфитовых отходов были изготовлены изделия в соответствии с техническим проектом по теплоизоляции стекольной печи на ЗАО «Васильевский стекольный завод» (Россия, Республика Татарстан) для главного свода регенеративной стекловаренной печи с подковообразным направлением пламени для варки боросиликатного стекла. На основании акта внедрения в результате проведенных работ при тех же выработочных мощностях расход природного газа снизился на 70...80 м³/ч. Прямой экономический эффект от теплоизоляции свода печи составил 1 747 620 руб./год. Также разработанный материал был использован для теплоизоляции камеры сгорания, корпуса реактора и камеры дожига газа экспериментальной пиролизной установки, изготовленной в ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет» по программе ОКР «Разработка технологий, обеспечивающих ликвидацию различных химически опасных отходов, находящихся на территории накопителей, свалок и захоронений, на основе методов сверхкритического водного окисления и пиролиза в восстановительной среде без процесса горения» ФЦП «Национальная система химической и биологической безопасности Российской Федерации (2009–2013 годы)» Министерства промышленности и торговли Российской Федерации (Госконтракт № 9411.1007500.13.1007 от 23 июля 2009 г.). Экономический эффект при теплоизоляции одной единицы пиролизной установки составил 103 466 руб. Планируемый экономический эффект при изготовлении 200 единиц пиролизных установок составит 20 693 200 руб.

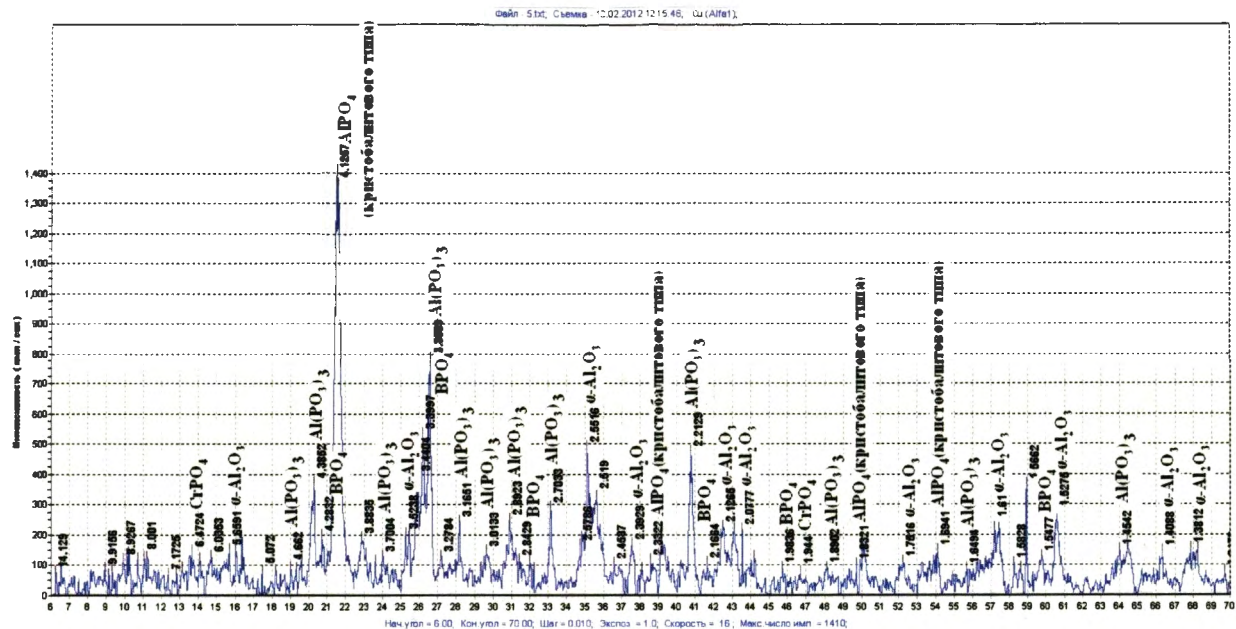


Рис. 8. Рентгенограмма жаростойкого поризованного бетона на основе АБФС, порошка алюминия, шамота, алюмохромового отхода, кремнеграфитовых отходов после нагрева при 1400 °С

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Разработаны составы жаростойкого поризованного бетона со средней плотностью $700 \dots 1000 \text{ кг/м}^3$ на основе алюмоборфосфатного связующего, порошка алюминия, шамота и добавок алюмохромовых и кремнеграфитовых отходов. Поризация и твердение бетона происходит в результате газо- и тепловыделения экзотермической реакции между фосфатным связующим и порошком алюминия.

2. Установлено, что путем изменения соотношения АБФС:ОФК, расхода порошка алюминия и начальной температуры их смеси можно регулировать время начала интенсивного взаимодействия исходных компонентов (30 с...40 мин) и его максимальную температуру ($12 \dots 130^\circ\text{C}$).

3. Методами дифференциально-термического и рентгенофазового анализа показано, что при нагревании разработанных поризованных бетонов каких-либо деструктивных явлений не наблюдается. Конечными продуктами фазовых превращений поризованного жаростойкого бетона после нагревания до 1400°C являются $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$, SiC, SiO_2 (тридимит), $\text{Al}(\text{PO}_3)_3$ (формы А), CrPO_4 , BPO_4 и AlPO_4 (кристаллитовый тип).

4. С применением математического планирования эксперимента определена зависимость физико-механических свойств поризованных алюмоборфосфатных бетонов, твердеющих без термообработки, от расходов связующего, порошка алюминия и кремнеграфитовых отходов. Установленные закономерности позволяют получать жаростойкий поризованный бетон с заданными свойствами. В частности, показано, что введение кремнеграфитовых отходов повышает термостойкость на 60 % и прочность при сжатии на 7 % жаростойкого поризованного бетона на АБФС.

5. Разработанные жаростойкие поризованные бетоны в зависимости от состава и плотности после сушки имеют прочность при сжатии $3,8 \dots 5,2 \text{ МПа}$, коэффициент теплопроводности $0,18 \dots 0,22 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$, термостойкость $33 \dots 51$ воздушных теплосмен и температуру применения $1350 \dots 1500^\circ\text{C}$.

6. Определена общая пористость жаростойкого поризованного бетона, которая при средней плотности 700, 800, 900 и 1000 кг/м^3 составила соответственно 67,2; 62,3; 58,4; 53,3 %. Установлено, что с повышением средней плотности разработанного поризованного бетона от 700 до 1000 кг/м^3 сокращается количество крупных пор размерами $1,0 \dots 4,5 \text{ мм}$ практически на 70 % и увеличивается количество мелких пор размерами до 1,0 мм.

7. Показана возможность получения на основе фосфатной композиции АБФС – порошок алюминия многослойных жаростойких поризован-

ных бетонов переменной плотности и эффективность применения этих материалов для тепловых агрегатов.

8. Изделия из жаростойкого поризованного бетона использованы в качестве элементов теплоизоляции главного свода регенеративной стекловаренной печи для варки боросиликатного стекла на ЗАО «Васильевский стекольный завод» (Россия, Республика Татарстан). Прямой экономический эффект от теплоизоляции свода печи составил 1 747 620 руб./год. Также изделия из жаростойкого поризованного бетона использовались для теплоизоляции камеры сгорания, корпуса реактора и камеры дожига газа экспериментальной пиролизной установки. Экономический эффект при теплоизоляции камеры сгорания, корпуса реактора и камеры дожига газа одной единицы пиролизной установки составил 103 466 руб. Планируемый экономический эффект при изготовлении 200 единиц пиролизных установок составит 20 693 200 руб.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ ПРЕДСТАВЛЕНЫ В СЛЕДУЮЩИХ ПУБЛИКАЦИЯХ

В российских рецензируемых научных журналах из перечня ВАК РФ

1. Батрашов, В. М. Жаростойкие фосфатные ячеистые материалы переменной плотности / Ч. Г. Пак, В. А. Абызов, В. М. Батрашов // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Сер.: Строительство и архитектура. – 2010. – Вып. 10, № 15 (191). – С. 4–5.
2. Батрашов, В. М. Ячеистые жаростойкие бетоны на фосфатном вяжущем и заполнителях из кремнеграфитовых и алюмохромсодержащих промышленных отходов / В. А. Абызов, Ч. Г. Пак, В. М. Батрашов // Огнеупоры и техническая керамика. – 2011. – № 11/12. – С. 27–29.
3. Батрашов, В. М. Разработка и исследование высокотемпературной матрицы для жаростойкого поризованного материала / В. М. Батрашов, Ч. Г. Пак // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2012. – № 4 (24). – С. 112–119.

В других изданиях

1. Батрашов, В. М. Технология получения фосфатных жаростойких материалов и изделий в режиме самораспространяющегося высокотемпературного синтеза / Ч. Г. Пак, В. М. Батрашов // Горение и плазмохимия: V Междунар. симп. (Алматы, Республика Казахстан, 16–18 сент. 2009). – Алма-Ата, 2009. – С. 98–99.

2. Батрашов, В. М. Получение композиционных материалов в режиме самораспространяющейся экзотермической реакции с использованием отходов производства / Ч. Г. Пак, В. М. Батрашов, С. Н. Мордвинов, С. В. Скиба // Новые материалы и технологии НМТ – 2010 : материалы Всерос. науч.-техн. конф. – М., 2010. – Т. 1. – С. 73–74.

3. Batrashov, V. M. Phosphate composites by self-sustained exothermic reaction / Ch. G. Pak, V. M. Batrashov, S. V. Skiba, P. I. Serov // Explosive/combustion assisted production of new materials: science and technology / ed. by A. A. Deribas and Yu. B. Sheck. – Kaliningrad : I. Kant BFU, 2011. – P. 39–40.

4. Батрашов, В. М. Получение пористых композиционных высокотемпературных материалов в режиме СВС / Ч. Г. Пак, В. М. Батрашов // Композиционные строительные материалы. Теория и практика : материалы Междунар. науч.-техн. конф. – Пенза, 2011. – С. 96–99.

5. Batrashov, V. M. Obtaining and regulation of the phosphate materials structure in the mode of the self-propagating exothermal reaction / Ch. G. Pak, V. M. Batrashov // Book of abstracts XI International Symposium of Self-propagating High Temperature Synthesis. – Anavyssos, Attica, Greece, 2011. – P. 247–248.

6. Батрашов, В. М. Возможность регулирования структуры и свойств фосфатных композиционных материалов / Ч. Г. Пак, В. М. Батрашов // Перспективы развития строительного материаловедения: энерго- и ресурсосбережение в строительстве : материалы Всерос. науч.-техн. конф. – Челябинск, 2011. – С. 54–56.

7. Батрашов, В. М. Комплексная утилизация отходов промышленности с использованием технологии самораспространяющегося высокотемпературного синтеза / Ч. Г. Пак, В. М. Батрашов // Актуальные научно-технические проблемы химической безопасности : материалы Всерос. конф. – М., 2011. – С. 83.

8. Батрашов, В. М. Фосфатные композиционные материалы / Ч. Г. Пак, В. М. Батрашов // Новые материалы и технологии их получения : материалы V Междунар. науч.-практ. конф. – Новочеркасск, 2011. – С. 46–48.

Подписано в печать 05.03.2013. Формат 60×84¹/₁₆.

Усл. печ. л. 1,16. Заказ № 002092. Тираж 100.

Пенза, Красная, 40, Издательство ПГУ
Тел./факс: (8412) 56-47-33; e-mail: iic@pnzgu.ru

10-